

OTRAS ALTERNATIVAS A LA QUEMA DE PAJA DE ARROZ: INCORPORACIÓN DIRECTA AL SUELO Y APLICACIÓN EN FORMA DE COMPOST.

Fernando Pomares, Ramón Carreres y M^a Remedios Albiach.

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

INTRODUCCIÓN

El destino que tradicionalmente se ha dado a la paja en los campos de arroz del Parque Natural de la Albufera, ha sido la quema. Pero esta práctica, tan apreciada por los arroceros por su facilidad de realización y por sus efectos fitosanitarios, produce serios problemas de salubridad en las zonas circundantes a la ciudad de Valencia, así como considerables daños medioambientales.

Así mismo, en el Real Decreto 4/2001, de 12 de enero (MAPA, 2001), sobre ayudas a la utilización de métodos de producción agraria compatibles con el medio ambiente, se prohíbe la quema de rastrojos, salvo casos justificados por razones sanitarias y para evitar problemas fitosanitarios graves.

Y por otra parte, en la Comunidad Valenciana se produce una cantidad importante (unas 350.000 toneladas/año) de lodos de depuradora, que debido a su alto contenido en materia orgánica y nutrientes esenciales (particularmente nitrógeno y fósforo) constituyen un material enmendante del suelo de gran valor (Pomares, 1982), que es susceptible de ser mezclado con un residuo lignocelulósico como es la paja de arroz, pudiendo obtenerse un producto (compost) que además de contener altos niveles de materia orgánica y nutrientes (Ferrer et al., 2001), resultaría estabilizado y suficientemente higienizado para su uso como abono orgánico en los cultivos agrícolas.

Con vistas a obtener un aprovechamiento globalmente beneficioso que evite o reduzca los riesgos ambientales que conlleva su quema, se iniciaron en el año 2002 sendos estudios de campo para evaluar la respuesta del cultivo del arroz a diferentes manejos de la paja (quema, incorporación y recogida), y a la aportación de una parte de la fertilización nitrogenada (25 y 50 %) en forma de un compost de paja de arroz y lodos de depuradora.

PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

Ensayo de incorporación de la paja al suelo

El ensayo se inició en la campaña 2003 en una parcela comercial localizada en el término municipal de Llaurí (Valencia). Los tratamientos diferenciales planteados fueron tres modalidades de gestión o manejo de la paja de arroz: 1) la quema después de la recolección, 2) la incorporación directa al suelo con antelación a las labores preparatorias de la siembra, y 3) la recogida una vez finalizada la recolección.

Los tratamientos se distribuyeron según un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas de cada tratamiento, con parcelas elementales de 400 m², si bien el rendimiento se determinó en una subparcela de 8-9 m².

Las prácticas de cultivo seguidas fueron las usuales en la zona, siendo iguales en las tres modalidades de manejo de la paja de arroz.

Los parámetros estudiados en cada una de las campañas del ensayo han sido la altura de las plantas, el rendimiento en grano, la producción de paja, el índice de cosecha, el contenido de nutrientes esenciales en los órganos de la planta (granos, tallo y hojas), así como los parámetros físico-químicos y biológicos más relevantes de la calidad del suelo.

Ensayo de aprovechamiento en forma de compost

Este ensayo se inició en la campaña 2002 en una parcela comercial sita en el término municipal de Sueca (Valencia). Los tratamientos diferenciales comparados fueron dos factores: 2 dosis de nitrógeno (80 y 120 Kg N/ha) y 3 proporciones de compost (0, 25 y 50 %), distribuidos según un diseño de parcelas divididas, incluyendo también un testigo (sin fertilización nitrogenada), con cuatro réplicas de cada tratamiento diferencial, siendo las parcelas elementales de 7 x 15 m².

El compost se obtuvo a partir de una mezcla de paja de arroz y lodos de depuradora siguiendo el procedimiento expuesto por Ferrer et al. (2001), y sus características físico-químicas se muestran en el Cuadro 1.

Las prácticas de cultivo seguidas fueron las usuales en la zona, siendo iguales en todos los tratamientos diferenciales.

Los parámetros estudiados en las respectivas campañas han sido: el ciclo de cultivo (50 % de espigado y maduración), la altura de las plantas, el rendimiento en grano, la producción de paja, el índice de cosecha, el contenido de nutrientes en los órganos de la planta (granos, tallos y hojas) en la fase de madurez, la absorción de nitrógeno por la planta, la eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado, las propiedades cualitativas del grano en el proceso de elaboración, las características físico-químicas del suelo determinantes de su calidad, y la capacidad de fijación del nitrógeno en el arrozal.

RESULTADOS

Ensayo de incorporación de la paja de arroz

Según se muestra en el Cuadro 2, la modalidad de manejo de la paja de arroz no afectó de forma significativa a la altura de las plantas en ninguna de las campañas del estudio.

Los resultados de rendimiento en grano obtenidos (Cuadro 3) ponen de manifiesto que en la primera campaña de la investigación (año 2003) se registraron diferencias significativas al nivel del 95 % entre las tres modalidades de gestión de la paja, correspondiendo el rendimiento más alto a la quema y el más bajo a la incorporación, registrando una disminución entre ambos del 23 %. Sin embargo, en las restantes campañas (2004, 2005 y 2006) las diferencias entre los tres tipos de manejo de la paja no resultaron estadísticamente significativas. Considerando los resultados globales de las cuatro campañas, los rendimientos medios en grano fueron 7,9, 7,1 y 7,2 t/ha mediante la quema, la incorporación y la recogida de la paja, respectivamente. Y tomando como referencia el rendimiento obtenido en el tratamiento de la quema, con la incorporación y la recogida de la paja se obtuvieron unas disminuciones en el rendimiento del 10 y 9 %, respectivamente.

De los resultados de producción de paja (Cuadro 4) se deduce que el sistema de manejo no afectó significativamente a la cantidad de paja producida en las respectivas campañas. Haciendo el cómputo global de las cuatro campañas, la producción media de paja dio unos valores de 7,68, 6,93 y 6,92 t/ha con la quema, la incorporación y la recogida, respectivamente. Y tomando como referencia la producción de paja obtenida con el tratamiento de quema, la incorporación y la recogida presentaron una disminución del 10 %. También cabe señalar que la cantidad de paja producida en la campaña 2006 resultó menor que la de las campañas anteriores, lo que es atribuible al menor porte de la variedad sembrada en la última campaña (Cuadro 2).

Los resultados del índice de cosecha (Cuadro 5) indican que las tres clases de manejo de la paja dieron valores muy similares, no alcanzando diferencias significativas en ninguna de las campañas. También puede observarse que el índice de cosecha resultó algo más alto en la campaña 2006 (0,56 – 0,58) que en las campañas anteriores (0,45 – 0,51), hecho atribuible a la menor producción de paja de arroz obtenida en la última campaña.

Los contenidos de nutrientes obtenidos en el grano y la paja de arroz en las campañas 2003 y 2004 se muestran en los Cuadros 6 y 7. A tenor de estos resultados se

constata que el manejo de la paja no afectó de forma significativa a ninguno de los nutrientes analizados en las respectivas campañas. No obstante, cabe señalar unas marcadas diferencias en los niveles de nutrientes en ambos órganos vegetales. Así, en el grano se obtuvieron contenidos de nitrógeno y fósforo más altos que en la paja, si bien en los restantes nutrientes los mayores niveles se registraron en la paja, siendo particularmente destacable el potasio, cuyo contenido en la paja resultó entre 5 y 9 veces superior al del grano.

Los resultados obtenidos tanto en los parámetros físico-químicos del suelo (Cuadro 8) como en los micronutrientes asimilables (Cuadro 9) y en las actividades enzimáticas (Cuadro 10) no mostraron ningún efecto significativo derivado de la modalidad de manejo de la paja.

Ensayo de aprovechamiento en forma de compost

El efecto de la proporción de compost sobre la duración del ciclo vegetativo del cultivo hasta el 50 % del espigado resultó significativo en tres de las cuatro campañas estudiadas (Cuadro 11), produciendo la dosis del 50 % de compost un aumento de 1 a 2 días con respecto a la fertilización mineral a base de urea. Así mismo, el ciclo vegetativo hasta la maduración mostró diferencias significativas entre las dosis de compost en dos de las cuatro campañas, si bien los resultados son algo erráticos, ya que mientras que en la campaña 2003 la dosis del 50 % de compost combinada con la dosis alta de nitrógeno (120 Kg N/ha) causó una disminución de 3 días con respecto al testigo (sin compost), en la campaña 2004 esa misma dosis de compost (50 %) aumentó el ciclo vegetativo en 1 día (valor medio con las dos dosis de nitrógeno (80 y 120 Kg N/ha).

La altura de las plantas resultó afectada significativamente por la proporción de compost únicamente en las campañas 2002 y 2003 (Cuadro 12), causando los tratamientos de compost una disminución en la altura de las plantas que osciló entre 0,2 y 6,6 cm, según la campaña, registrándose la mayor disminución con la dosis alta de compost.

En cuanto a los resultados de rendimiento, este parámetro se vio afectado de forma significativa únicamente en la campaña 2003 (Cuadro 13), registrándose una disminución en el rendimiento con ambas dosis de compost (25 y 50 %). Y en el conjunto global de todas las campañas, los rendimientos medios obtenidos con los tratamientos de compost resultaron ligeramente inferiores a los del testigo (fertilización con urea), registrándose una disminución del 4 y 6% con las dosis de compost de 25 y 50 %, respectivamente.

El índice de cosecha resultó poco afectado por la aplicación de compost (Cuadro 14), no obteniéndose diferencias significativas en ninguna de las campañas, con unos valores medios de todas las campañas de 0,59, 0,58 y 0,59 con las dosis de compost de 0, 25 y 50 %, respectivamente.

El contenido de nitrógeno en los granos de arroz resultó más alto que el obtenido en la paja (Cuadro 15). Así, mientras que en los granos el nivel de nitrógeno osciló entre 0,86 y 1,11%, en la paja, el rango de variación fluctuó entre 0,56 y 0,73 %. Y el efecto de la dosis de nitrógeno no resultó significativo en ninguna de las campañas.

El valor de la absorción de nitrógeno por la parte aérea de las plantas de arroz (grano + paja) resultó bastante variable en función de la campaña, coincidiendo los valores más bajos con la campaña en que se obtuvieron los rendimientos más bajos (Cuadro 16). Y en cuanto al efecto de la dosis de compost sobre la absorción total de nitrógeno, éste resultó significativo en dos de las cuatro campañas, si bien los valores medios de todos los años fueron bastante similares, 89, 85 y 84 Kg N/ha/año con las dosis de 0, 25 y 50 % de compost, respectivamente.

En relación a la recuperación del nitrógeno aplicado en la fertilización (urea + compost), el efecto del compost resultó errático, registrándose diferencias significativas únicamente en la campaña 2003, si bien los valores medios de todos los años fueron muy similares, 30, 27 y 27 % con las dosis de 0, 25 y 50 %, respectivamente (Cuadro 17).

Por otra parte, la aplicación de compost no afectó al comportamiento del grano en el proceso de elaboración (Cuadro 18), ni a las características físico-químicas del grano relacionadas con la cocción (Cuadro 19), ni al nivel de metales pesados potencialmente tóxicos (Cuadro 20).

En cuanto a las propiedades físico-químicas del suelo, el efecto del compost resultó escaso (datos no incluidos). Pero, por el contrario, el compost sí que mostró un efecto claramente mejorante de la capacidad de fijación del nitrógeno atmosférico (Cuadro 21), obteniéndose con la dosis alta de compost (50 %) un valor de actividad nitrogenásica muy superior al conseguido con el tratamiento de fertilización mineral (exclusivamente con urea), y similar al registrado en el testigo (sin nitrógeno). Estos resultados ponen claramente de manifiesto que el compost aplicado a la dosis del 50 % puede evitar el efecto inhibitor del fertilizante mineral (urea) sobre la actividad de las cianobacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico.

CONCLUSIONES

A tenor de los resultados obtenidos en los ensayos realizados se infieren las conclusiones siguientes:

- En las condiciones del ensayo realizado, la incorporación de la paja de arroz directamente al suelo permite obtener un rendimiento de arroz ligeramente inferior al logrado con la práctica tradicional de la quema.
- Con la recogida de la paja, el rendimiento de arroz resultó similar al obtenido con la incorporación de la paja.
- La cantidad de paja producida en cada una de las modalidades de gestión de ésta resultó correlacionada con el rendimiento en grano.
- El manejo de la paja tuvo poca repercusión en la composición nutritiva de los órganos de la planta (grano y paja), así como en las propiedades físico-químicas del suelo determinantes de su calidad.
- Dado que este trabajo está todavía en marcha, es previsible que en las próximas campañas se obtengan en los parámetros estudiados efectos más significativos.

Sobre la aplicación del compost

- La dosis de compost produjo un pequeño aumento, entre 1 y 2 días en el ciclo vegetativo hasta el 50 % de espigado.
- La dosis de compost afectó a la altura de las plantas, causando una disminución del porte de hasta 6 cm en alguna campaña.
- La sustitución de un porcentaje del nitrógeno (25 y 50 %) en forma de compost provocó una ligera disminución en el rendimiento de arroz (4 – 6 %) con respecto a la fertilización mineral exclusivamente a base de urea.
- La adición de compost no afectó apenas al contenido de nitrógeno en los órganos de la planta (grano y paja), ni tampoco a la absorción de nitrógeno por la planta, ni al porcentaje de recuperación del nitrógeno aplicado.
- Los distintos parámetros determinantes de la calidad del arroz en la elaboración, en la cocción o en su toxicidad potencial (contenido en metales pesados) no resultaron afectados por la aplicación del compost.
- Las respectivas dosis de compost tuvieron poca repercusión en las propiedades físico-químicas determinantes de la calidad del suelo; pero, en cambio la dosis alta de compost provocó un incremento considerable en la actividad de las cianobacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico.

BIBLIOGRAFÍA

EAGLE, A. J., BIRD, J. A., HORWATH, W. R., LINQUIST, B. A., BROUDER, S. M., HILL, J. E., KESSEL, CH. VAN., 2000. Rice yield and nitrogen utilization efficiency under alternative straw management practices. Agron. J. 92: 1096-1103.

FERRER, E., ALTARRIBA, E., CALVET, S., CANET, R., POMARES, F., 2001. Aprovechamiento de la paja de arroz y los lodos de depuradora mediante compostaje. *Agrícola Vergel*. Diciembre 2001: 687-692.

FLINN, J. C., MARCIANO, V. P., 1984. Rice straw and stuble management. En: *Organic Matter and Rice*. The International Rice Research Institute. Los Baños, Filipinas. Pp. 593-612.

INOKO, A., 1984. Compost as a source of plant nutrients. En: *Organic Matter and Rice*. The International Rice Research Institute. Los Baños, Filipinas. Pp. 137-146.

MAPA, 2001. Real Decreto 4/2001, de 12 de enero, por el que se establece un régimen de ayudas a la utilización de métodos de producción agraria compatibles con el medio ambiente.

POMARES, F., 1982. Valor fertilizante de los lodos de las depuradoras de aguas residuales. *ITEA*, 49: 47-67.

POMARES, F., FERRER, E., CANET, R., 2001. Aprovechamiento de la paja de arroz. En: *El arroz: su entorno y su futuro*. R. Ballesteros y D. Gómez de Barreda (eds). Universidad Internacional Menéndez Pelayo-Comunidad Valenciana. Tomo I: 102-125.

PONNAMPERUMA, F. N., 1984. Straw as a source of nutrients for wetland rice. En: *Organic Matter and Rice*. The International Rice Research Institute. Los Baños, Filipinas. Pp. 117-136.

RAO, D. N., MIKKELSEN, D. S., 1976. Effect of rice straw incorporation on rice plant growth and nutrition. *Agron. J.* 68: 752-755.

SUREKHA, K., KUMARI, A. P. P., REDDY, M. N., SATYANARAYANA, K., STA CRUZ, P. C., 2003. Crop residue management to sustain soil fertility and irrigated rice yields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67: 145-154.

Cuadro 1. Características físico-químicas del compost utilizado en los ensayos

Característica	2002	2003	2004
Humedad (%)	28,4	34,2	37,5
pH (1:5)	6,7	6,6	6,5
Conductividad eléctrica (1:5) (dS/m)	11,5	11,2	10,4
Materia orgánica (%)	51,4	50,5	52,7
Nitrógeno (% N)	2,69	2,73	2,48
Relación C/N	9,0	8,8	9,9
Fósforo (% P ₂ O ₅)	5,14	5,28	4,86
Potasio (% K ₂ O)	0,99	1,05	1,20
Calcio (% Ca O)	14,3	15,6	12,8
Magnesio (% Mg O)	1,26	1,34	1,45
Hierro (mg Fe/kg)	3655	3874	3576
Manganeso (mg Mn/kg)	153	167	174
Cobre (mg Cu/kg)	284	292	285
Cinc (mg Zn/kg)	680	698	647
Cadmio (mg Cd/kg)	0,9	0,9	0,8
Níquel (mg Ni/kg)	8,4	8,8	7,6
Plomo (mg Pb/kg)	71	76	68
Cromo (mg Cr/kg)	218	225	194
Mercurio (mg Hg/kg)	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Cuadro 2. Efecto de la gestión de la paja de arroz en la altura de las plantas

Tratamiento	Altura de las plantas (cm)			
	2003	2004	2005	2006
Quema	74,6	76,2	72,5	57,4
Incorporación	71,5	72,8	68,5	54,5
Recogida	69,8	71,2	70,1	55,8
Significación	NS	NS	NS	NS

Cuadro 3. Efecto de la gestión de la paja de arroz el rendimiento en grano

Tratamiento	Rendimiento en grano (t/ha)				
	2003	2004	2005	2006	Media
Quema	7,59 ab	7,22	8,52	8,30	7,91
Incorporación	5,83 c	6,85	7,91	7,87	7,11
Recogida	6,76 bc	6,30	8,08	7,63	7,19
Significación	95%	NS	NS	NS	

Cuadro 4. Efecto de la gestión de la paja de arroz en la producción de paja.

Tratamiento	Producción de paja (t/ha)				
	2003	2004	2005	2006	
Quema	7,59	8,05	8,89	6,19	
Incorporación	7,04	7,22	7,68	5,77	
Recogida	6,67	6,85	8,21	5,94	
Significación	NS	NS	NS	NS	

Cuadro 5. Efecto de la gestión de la paja de arroz en el índice de cosecha.

Tratamiento	Índice de cosecha				
	2003	2004	2005	2006	
Quema	0,50	0,47	0,49	0,57	
Incorporación	0,45	0,49	0,51	0,58	
Recogida	0,50	0,48	0,50	0,56	
Significación	NS	NS	NS	NS	

Cuadro 8. Efecto de la gestión de la paja de arroz en algunas características físico-químicas del suelo (campaña 2005)

Tratamiento	pH (H ₂ O)	MO (%)	N org. (%)	Relac. C/N	P asimilable ppm	K asimilable ppm	Salinidad extracto sat. (dS/m)
0 – 15 cm.							
Quema	7,97	2,48	0,140	10,3	38,0	152	2,18
Incorporación	7,94	2,53	0,139	10,6	31,0	144	2,42
Recogida	7,96	2,53	0,144	10,2	35,0	148	2,47
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
15 – 30 cm.							
Quema	8,26	1,44	0,090	9,3	8,0	133	0,99
Incorporación	8,20	1,41	0,089	9,3	7,3	133	1,15
Recogida	8,24	1,45	0,088	9,6	7,3	129	1,08
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 9. Efecto de la gestión de la paja de arroz en el contenido de micronutrientes asimilables en el suelo (campaña 2005)

Tratamiento	Extracto DTPA (ppm)			
	Fe	Cu	Mn	Zn
0-15 cm				
Quema	110,5	6,1	8,0	1,42
Incorporación	99,6	5,9	8,1	0,86
Recogida	105,9	5,9	8,1	0,84
Significación	NS	NS	NS	NS
15-30 cm				
Quema	42,9	3,1	6,0	0,49
Incorporación	38,2	2,8	6,3	0,58
Recogida	40,9	3,0	5,5	0,53
Significación	NS	NS	NS	NS

Cuadro 10. Efecto de la gestión de la paja de arroz en algunas actividades enzimáticas del suelo (campaña 2005)

Tratamiento	Fosfatasa	β -D-glucosidasa	Deshidrogenasa		Ureasa
			0-15 cm		
Quema	1,67	0,15	1,69		0,49
Incorporación	1,56	0,19	1,66		0,57
Recogida	1,77	0,17	2,02		0,56
Significación	NS	NS	NS		NS

Cuadro 11. Efecto de la proporción de compost en la duración de ciclo de cultivo

Proporción de compost (%)	Ciclo de cultivo (días)							
	2002		2003		2004		2006	
	50% esp.	Madur.	50% esp.	Madur.	50% esp.	Madur.	50% esp.	Madur.
0	78	119	76 a	116 ⁽¹⁾ /118 ⁽²⁾ a	83 a	121 a	79 a	119
25	78	119	76 a	116/117 b	83 a	121 a	80 ab	119
50	78	119	77 b	116/115 c	84 b	122 b	81 b	119
Significación	NS	NS	95%	NS/95%	95%	95%	95%	NS

Cuadro 12. Efecto de la proporción de compost en la altura de las plantas de arroz.

Proporción de compost (%)	Altura de las plantas (cm)			
	2002	2003	2004	2006
0	68,0 a	93,0 a	62,6	59,9
25	66,6 ab	89,0 b	62,5	61,4
50	65,5 b	86,5 b	62,4	61,1
Significación	95%	95%	NS	NS

Cuadro 16. Efecto de la proporción de compost en la absorción total de nitrógeno por las plantas (parte aérea) de arroz

Proporción de compost (%)	Absorción total de nitrógeno (Kg N/ha)			
	2002	2003	2004	2006
0	60,1	107,4 a	103,0	86,8 ab
25	63,7	88,6 b	97,2	92,1 a
50	63,1	89,9 b	104,9	80,3 b
Significación	NS	95%	NS	95%

Cuadro 17. Efecto de la proporción de compost en la eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado en la fertilización.

Proporción de compost (%)	Eficacia en la recuperación del nitrógeno (%)			
	2002	2003	2004	2006
0	15,6	44,3 a	44,3	15,4
25	19,2	24,0 b	38,2	26,9
50	18,5	26,0 b	45,4	17,2
Significación	NS	95%	NS	NS

Cuadro 18. Efecto del compost sobre el comportamiento del grano en el proceso de elaboración en la variedad Senia (2003).

Proporción de compost (%)	Cascarilla (%)	Rto. total (%)	Roturas (%)	Yesosos (%)
0	18,7	71,4	9,4	3,5
25	18,9	71,2	8,4	2,9
50	18,7	71,5	8,7	3,0
Significación	NS	NS	NS	NS

Cuadro 19. Efecto del compost sobre algunas características físico-químicas del grano de la variedad Ullal (2002).

Proporción de compost (%)	Amilosa (%)	Consistencia gel (mm)	Alcalí (dispersión)	Adhesividad (g.cm)	Consistencia (kg.cm ⁻²)	Proteínas (%)
0	16,7	69	4,61	6,11	0,73	6,86
25	16,6	70	4,54	6,00	0,70	7,10
50	16,2	64	4,76	6,57	0,74	7,05
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 20. Efecto de la proporción de compost en el contenido de metales pesados en los granos de arroz.

Tratamiento	Contenido de metales pesados en los granos					
	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
CAMPAÑA 2002						
Quema	1,5	19	1,4	0,19	0,014	2,3
Incorporación	1,4	19	1,8	0,17	0,019	2,4
Recogida	1,4	18	1,8	0,18	0,021	2,2
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2003						
Quema	1,9	14	1,9	0,059	0,017	2,1
Incorporación	1,6	14	1,8	0,62	0,010	2,1
Recogida	1,8	14	2,3	0,072	0,015	2,2
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2004						
Quema	1,9	14	1,1	0,018	0,009	1,6
Incorporación	2,0	15	1,1	0,023	0,009	1,7
Recogida	1,9	15	1,1	0,033	0,009	1,9
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 21. Efecto de la proporción de compost en la fertilización (80 kg N/ha) sobre la fijación del N₂ en el arrozal (valores medios de las campañas 2002, 2003 y 2004).

Proporción de compost (%)	Actividad reductora del acetileno ($\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)
Control (sin N)	453 a
0	252 b
25	265 b
50	486 a
Significación	95%

ARROZ EN EL PARQUE NATURAL DE L'ALBUFERA, UN FUTURO SOSTENIBLE

ECORICE

Valencia, 7 - 9 de febrero de 2007

Otras Alternativas a la Quema de la Paja de Arroz: Incorporación al Suelo y Aplicación en Forma de Compost



**Fernando Pomares, Ramón Carreres y
M^a Remedios Albiach.
Instituto Valenciano de Investigaciones
Agrarias**



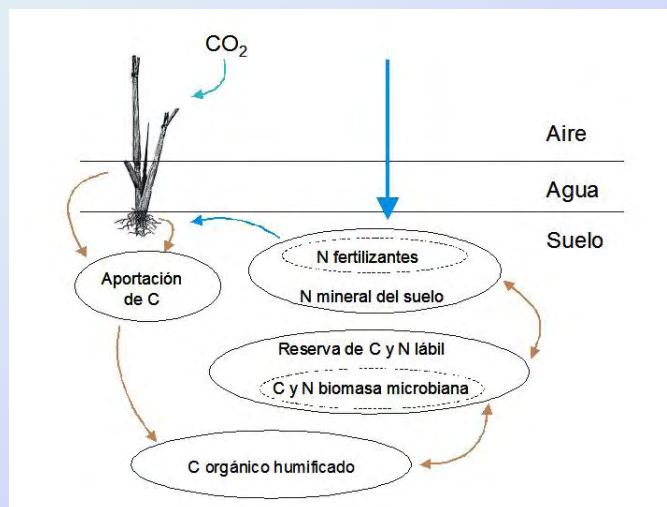
INTRODUCCIÓN

- La paja de arroz en el Parque Natural de L'Albufera tradicionalmente se ha eliminado mediante la quema.
- La incineración de la paja de arroz genera problemas de salubridad y daños medioambientales como emisiones de CO₂.
- La normativa ambiental vigente (Real Decreto 4/2001) hace incompatible la obtención de las subvenciones con la quema de los rastrojos.
- La paja de arroz es un residuo lignocelulósico interesante para usar como material estructurante en el compostaje de los lodos de depuradora.

Conscientes de la necesidad de utilizar alternativas a la quema de la paja de arroz, iniciamos en el IVIA hace varios años dos proyectos experimentales con la finalidad principal de evaluar la viabilidad agronómica de dos tipos de aprovechamiento de la paja de arroz:

1. Incorporación directa al suelo
2. Aplicación en forma de compost

INTERACCIONES CARBONO-NITRÓGENO EN EL ARROZAL



PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

Inicio: campaña 2003

Parcela: comercial

Localización: Llaurí (Valencia)

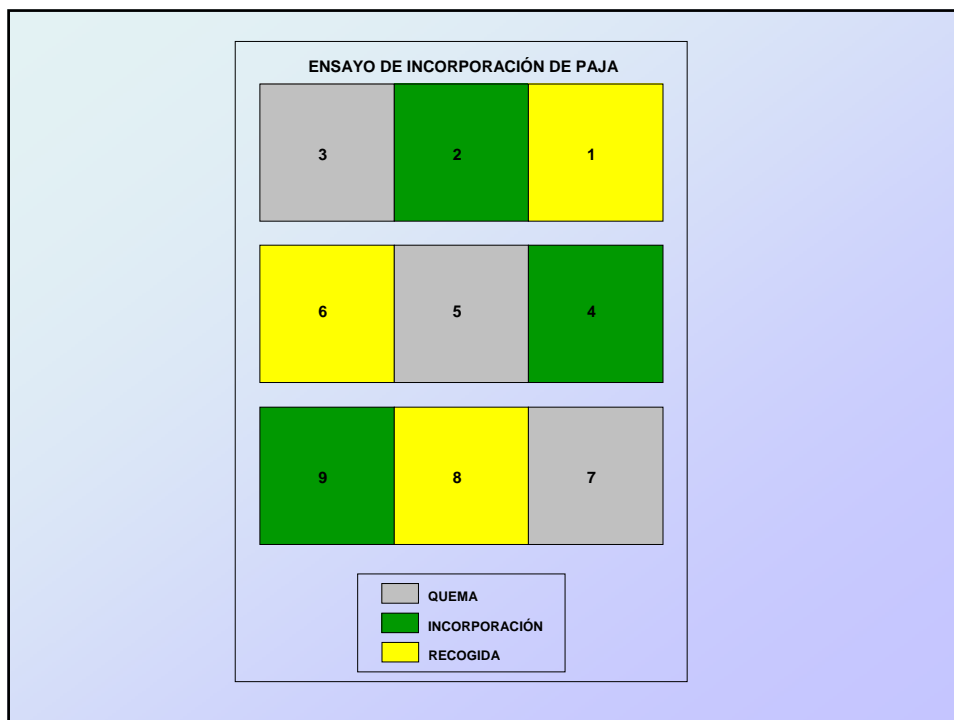
Tratamientos:

- T₁: quema
- T₂: incorporación al suelo
- T₃: recogida

Diseño: bloques completos al azar con tres réplicas

Parcelas elementales: 400 m²

Técnicas de cultivo: las usuales



Parámetros analizados

- Altura de las plantas
- Rendimiento en grano
- Producción de paja
- Índice de cosecha
- Contenido de nutrientes en grano y paja
- Absorción de nutrientes
- Parámetros físico-químicos y biológicos del suelo

PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

Inicio: campaña 2002

Parcela: comercial

Localización: Sueca (Valencia)

Tratamientos:

2 dosis de nitrógeno (80 y 120 Kg N/ha) combinadas
con 3 proporciones de compost (0, 25 % y 50 %)

Diseño: parcelas divididas incluyendo un testigo (sin N),
con 4 réplicas

Parcelas elementales: 7 x 15 m²

Técnicas de cultivo: las usuales

ENSAYO DE APLICACIÓN DE COMPOST						
N2C2	N2C0	N2C1	N0C0	N1C1	N1C0	N1C2
401	402	403	404	405	406	407
N0C0	N1C0	N1C2	N1C1	N2C1	N2C0	N2C2
301	302	303	304	305	306	307
N0C0	N2C1	N2C2	N2C0	N1C2	N1C0	N1C1
201	202	203	204	205	206	207
N1C2	N1C1	N1C0	N0C0	N2C0	N2C2	N2C1
101	102	103	104	105	106	107

<input type="checkbox"/>	NO: sin N	<input type="checkbox"/>	CO: sin compost
<input type="checkbox"/>	N1: 80 Kg N/ha	<input type="checkbox"/>	C1: 25 % compost
<input type="checkbox"/>	N2: 120 Kg N/ha	<input type="checkbox"/>	C2: 50 % compost



ENSAYO DE APLICACIÓN DE COMPOST

Características físico-químicas del compost utilizado en los ensayos

Característica	2002	2003	2004
Humedad (%)	28,4	34,2	37,5
pH (1:5)	6,7	6,6	6,5
Conductiv. eléctrica (1:5) (dS/m)	11,5	11,2	10,4
Materia orgánica (%)	51,4	50,5	52,7
Nitrógeno (% N)	2,69	2,73	2,48
Relación C/N	9,0	8,8	9,9
Fósforo (% P ₂ O ₅)	5,14	5,28	4,86
Potasio (% K ₂ O)	0,99	1,05	1,20
Calcio (% Ca O)	14,3	15,6	12,8
Magnesio (% Mg O)	1,26	1,34	1,45

Características físico-químicas del compost utilizado en los ensayos

Característica	2002	2003	2004
Hierro (mg Fe/Kg)	3655	3874	3576
Manganeso (mg Mn/Kg)	153	167	174
Cobre (mg Cu/Kg)	284	292	285
Cinc (mg Zn/Kg)	680	698	647
Cadmio (mg Cd/Kg)	0,9	0,9	0,8
Níquel (mg Ni/Kg)	8,4	8,8	7,6
Plomo (mg Pb/Kg)	71	76	68
Cromo (mg Cr/Kg)	218	225	194
Mercurio (mg Hg/Kg)	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Parámetros analizados

- Ciclo de cultivo (50% de espigado y maduración)
- Altura de las plantas
- Rendimiento en grano
- Producción de paja
- Índice de cosecha
- Contenido de nutrientes en grano y paja
- Absorción de nutrientes
- Eficiencia de la recuperación del N aportado
- Aspectos cualitativos del arroz
- Propiedades físico-químicas del suelo
- Capacidad de fijación de nitrógeno

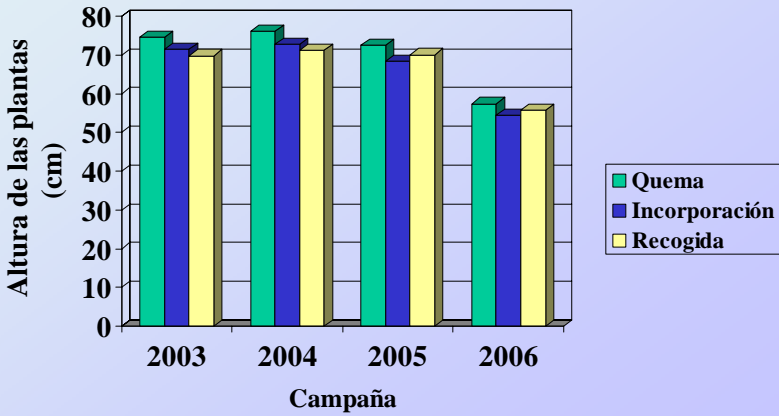




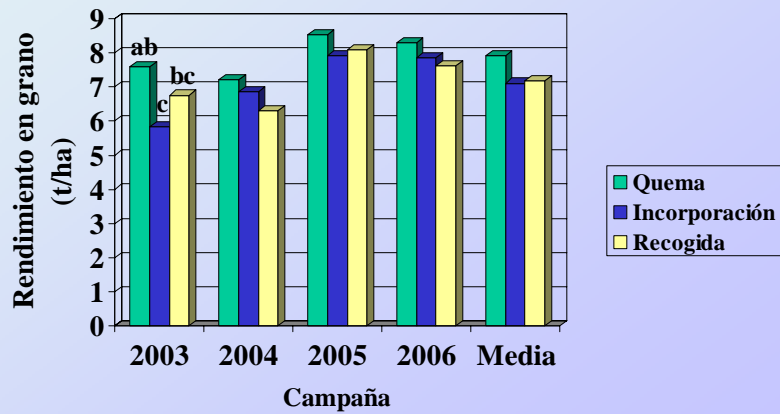




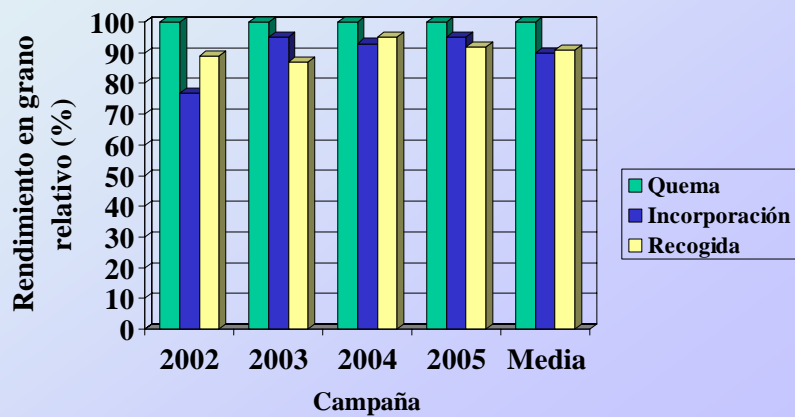
ENSAYO DE INCORPORACIÓN DE LA PAJA AL SUELO



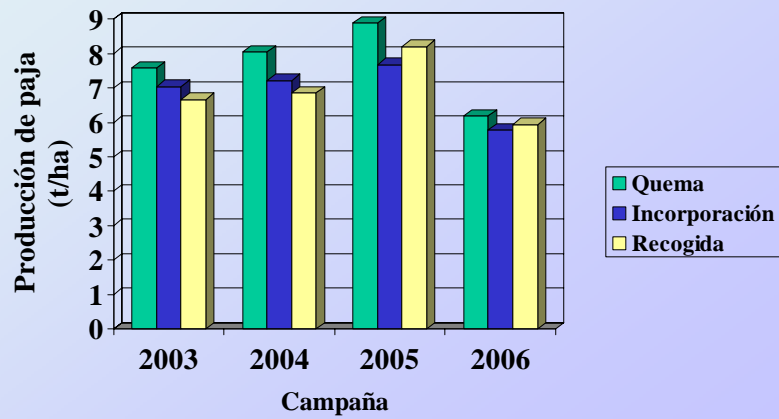
ENSAYO DE INCORPORACIÓN DE LA PAJA AL SUELO



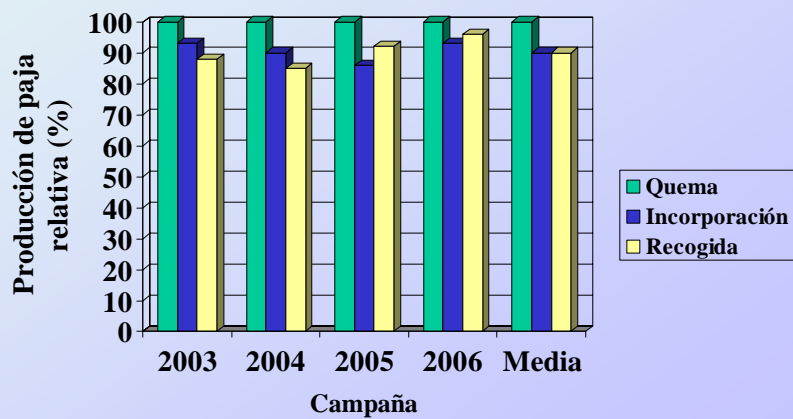
ENSAYO DE INCORPORACIÓN DE LA PAJA AL SUELO

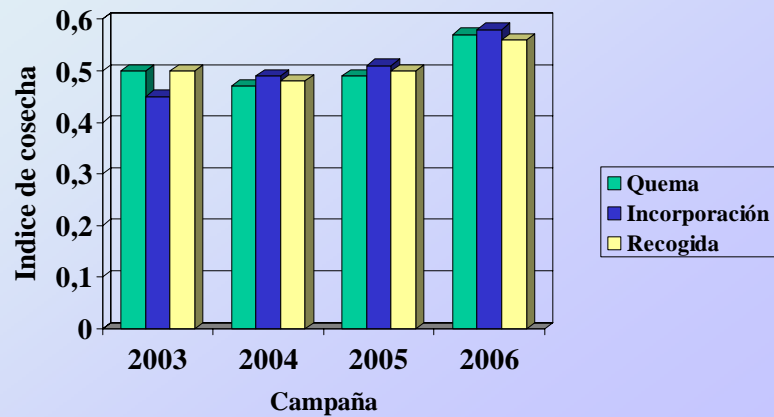


ENSAYO DE INCORPORACIÓN DE LA PAJA AL SUELO



ENSAYO DE INCORPORACIÓN DE LA PAJA AL SUELO





Efecto de la gestión de la paja de arroz en el contenido de macronutrientes en los granos de arroz

Tratamientos	Contenido de macronutrientes en los granos				
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
CAMPAÑA 2003					
Quema	1,00	0,26	0,25	0,063	0,10
Incorporación	0,99	0,26	0,27	0,063	0,11
Recogida	1,07	0,25	0,28	0,070	0,11
Significación	NS	NS	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2004					
Quema	1,05	0,23	0,34	0,067	0,10
Incorporación	1,02	0,22	0,36	0,073	0,10
Recogida	1,07	0,24	0,38	0,067	0,10
Significación	NS	NS	NS	NS	NS

Efecto de la gestión de la paja de arroz en el contenido de micronutrientes en los granos de arroz

Tratamientos	Contenido de micronutrientes en los granos			
	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
CAMPAÑA 2003				
Quema	50	1,4	32	30
Incorporación	47	1,5	30	30
Recogida	59	1,8	30	31
Significación	NS	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2004				
Quema	76	1,3	28	19
Incorporación	65	1,1	29	19
Recogida	58	1,4	28	18
Significación	NS	NS	NS	NS

Efecto de la gestión de la paja de arroz en el contenido de macronutrientes en la paja.

Tratamientos	Contenido de macronutrientes en la paja				
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
CAMPAÑA 2003					
Quema	0,48	0,12	2,70	0,46	0,25
Incorporación	0,53	0,12	2,45	0,46	0,23
Recogida	0,42	0,11	2,67	0,47	0,25
Significación	NS	NS	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2004					
Quema	0,55	0,10	1,83	0,82	0,25
Incorporación	0,53	0,10	1,86	0,72	0,25
Recogida	0,54	0,10	1,90	0,57	0,24
Significación	NS	NS	NS	NS	NS

Efecto de la gestión de la paja de arroz en el contenido de micronutrientes en la paja.

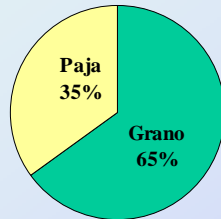
Tratamientos	Contenido de micronutrientes en la paja			
	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
CAMPAÑA 2003				
Quema	215	2,7	155	47
Incorporación	270	3,2	145	38
Recogida	249	2,8	139	40
Significación	NS	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2004				
Quema	398	2,5	93	2,6
Incorporación	380	2,3	71	21
Recogida	367	2,4	72	24
Significación	NS	NS	NS	NS

Efecto de la gestión de la paja en la absorción de macronutrientes por la planta (parte aérea).

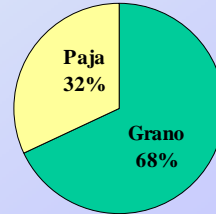
Tratamiento	Absorción de nutrientes (Kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CAMPAÑA 2003			
Quema	96,6	56,7	231
Incorporación	80,0	46,4	194
Recogida	86,3	47,7	203
CAMPAÑA 2004			
Quema	103,3	48,4	177
Incorporación	93,0	44,0	164
Recogida	89,8	43,2	159

DISTRIBUCIÓN DE LOS MACRONUTRIENTES ENTRE EL GRANO Y LA PAJA

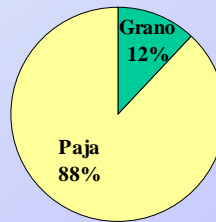
NITRÓGENO



FÓSFORO



POTASIO



ENSAYO DE INCORPORACIÓN DE LA PAJA AL SUELO

Efecto de la gestión de la paja de arroz en algunas características físico-químicas del suelo (campaña 2005)

Tratamiento	pH (H ₂ O)	Salinidad
		extracto saturación (dS/m)
0 – 15 cm.		
Quema	7,97	2,18
Incorporación	7,94	2,42
Recogida	7,96	2,47
Significación	NS	NS
15 – 30 cm.		
Quema	8,26	0,99
Incorporación	8,20	1,15
Recogida	8,24	1,08
Significación	NS	NS

Efecto de la gestión de la paja de arroz en algunas características físico-químicas del suelo (campaña 2005)

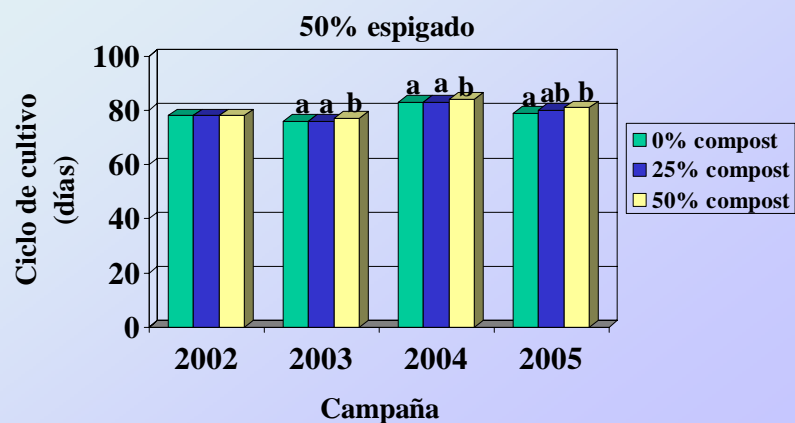
Tratamiento	MO (%)	N org. (%)	Relac. C/N	P asimilable ppm	K asimilable ppm
0 – 15 cm.					
Quema	2,48	0,140	10,3	38,0	152
Incorporación	2,53	0,139	10,6	31,0	144
Recogida	2,53	0,144	10,2	35,0	148
Significación	NS	NS	NS	NS	NS
15 – 30 cm.					
Quema	1,44	0,090	9,3	8,0	133
Incorporación	1,41	0,089	9,3	7,3	133
Recogida	1,45	0,088	9,6	7,3	129
Significación	NS	NS	NS	NS	NS

Efecto de la gestión de la paja de arroz en el contenido de micronutrientes asimilables en el suelo (campaña 2005)

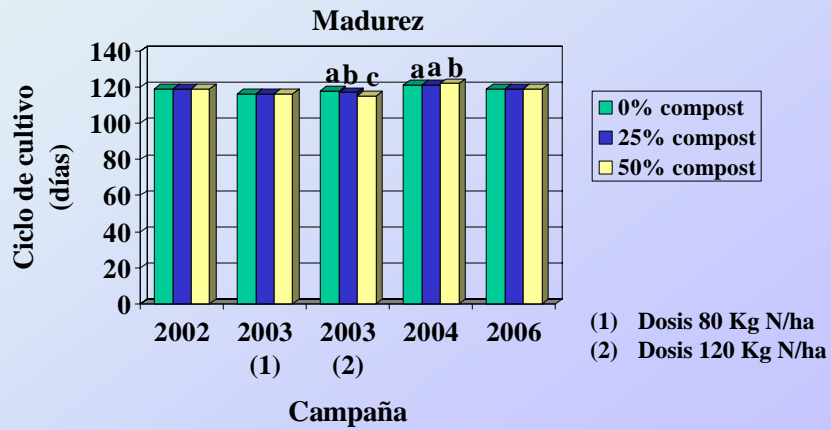
	Extracto DTPA (ppm)			
	Fe	Cu	Mn	Zn
0-15 cm				
Quema	111	6,1	8,0	1,42
Incorporación	100	5,9	8,1	0,86
Recogida	106	5,9	8,1	0,84
Significación	NS	NS	NS	NS
15-30 cm				
Quema	42,9	3,1	6,0	0,49
Incorporación	38,2	2,8	6,3	0,58
Recogida	40,9	3,0	5,5	0,53
Significación	NS	NS	NS	NS

Efecto de la gestión de la paja de arroz en algunas actividades enzimáticas del suelo (campaña 2005)

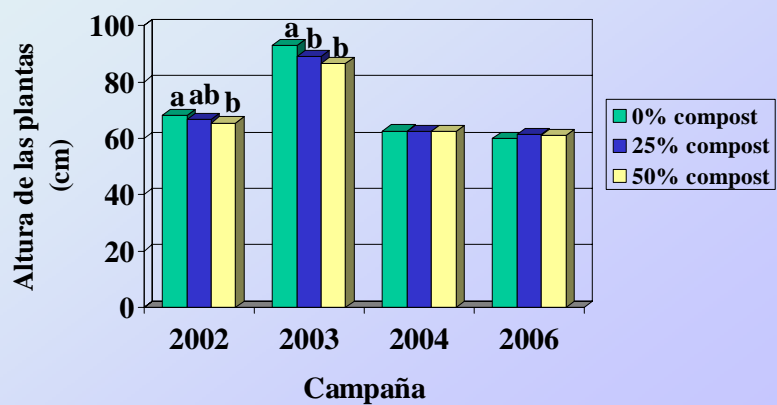
Tratamiento	Fosfatasa	β -D-glucosidasa	Deshidrogenasa	Ureasa
0-15 cm				
Quema	1,67	0,15	1,69	0,49
Incorporación	1,56	0,19	1,66	0,57
Recogida	1,77	0,17	2,02	0,56
Significación	NS	NS	NS	NS

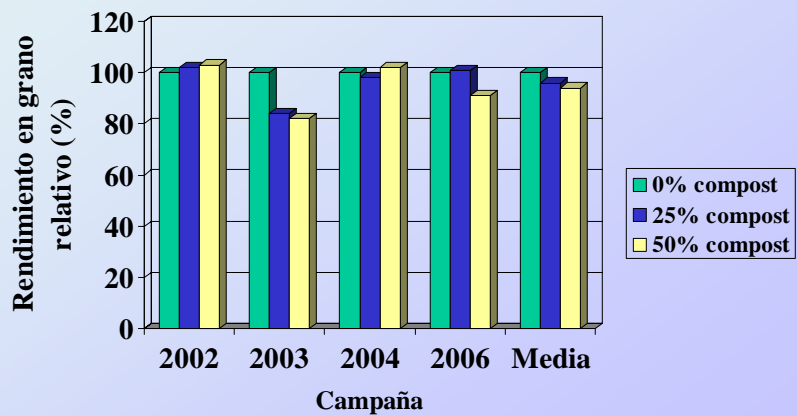
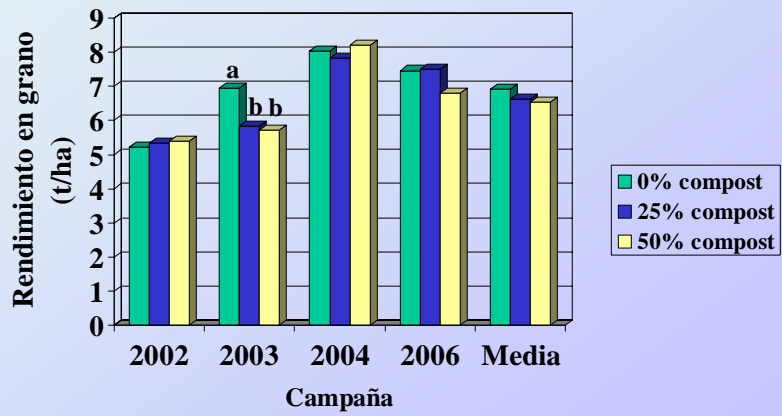


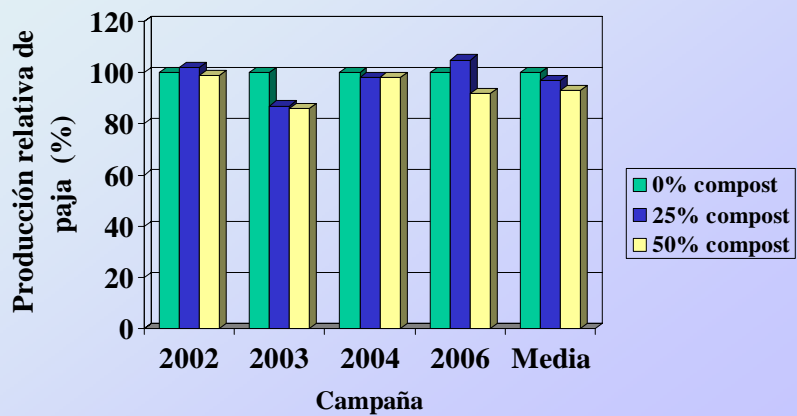
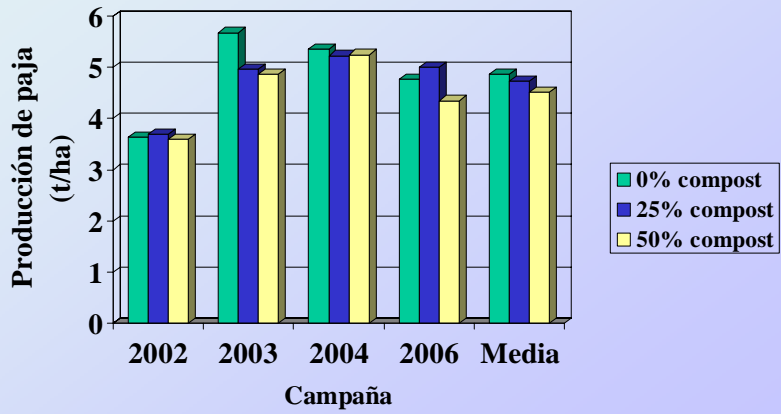
ENSAYO DE APLICACIÓN DE COMPOST

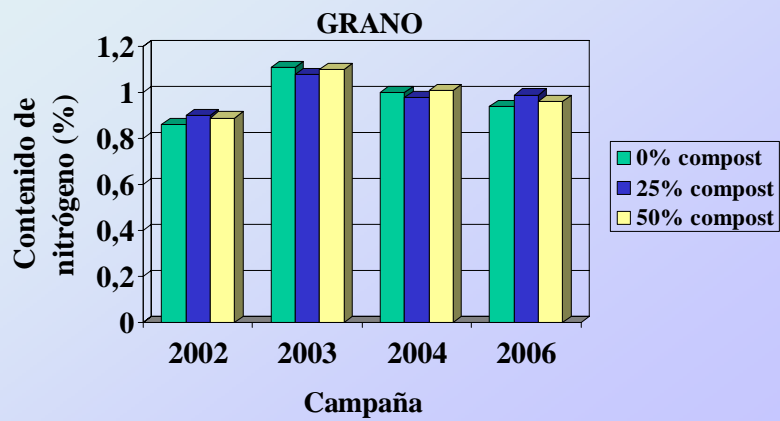
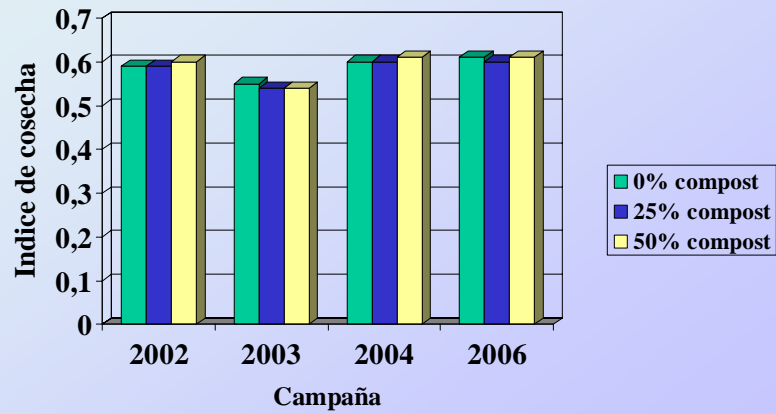


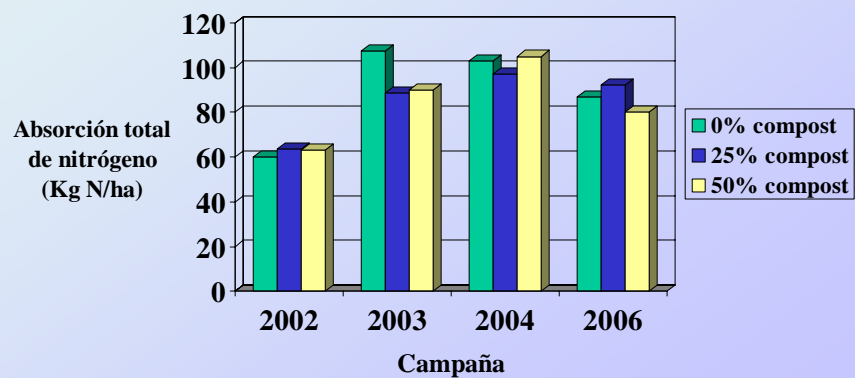
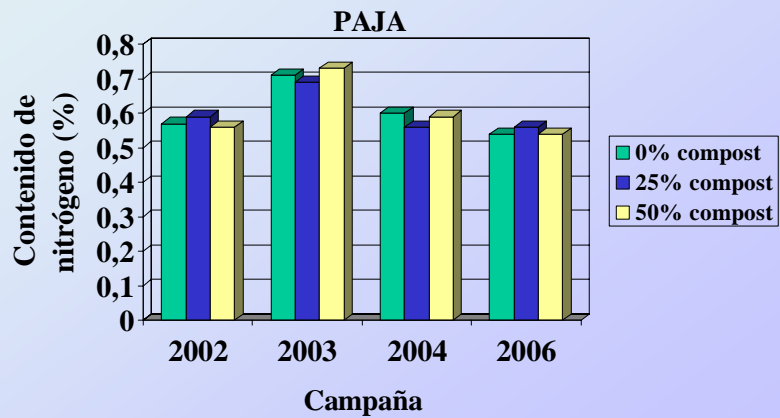
ENSAYO DE APLICACIÓN DE COMPOST

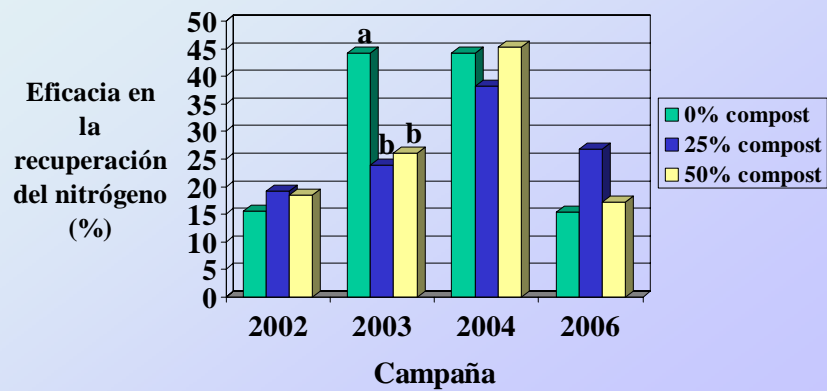












Efecto del compost sobre el comportamiento del grano en el proceso de elaboración en la variedad Senia (2003).

Proporción de compost (%)	Cascarilla (%)	Rto. total (%)	Roturas (%)	Yesosos (%)
0	18,7	71,4	9,4	3,5
25	18,9	71,2	8,4	2,9
50	18,7	71,5	8,7	3,0
Significación	NS	NS	NS	NS

Efecto del compost sobre algunas características físico-químicas del grano de la variedad Ullal (2002).

Proporción de compost (%)	Amilosa (%)	Consistencia gel (mm)	Alcalí (dispersión)	Adhesividad (g.cm)	Consistencia (kg.cm ⁻²)	Proteínas (%)
0	16,7	69	4,61	6,11	0,73	6,86
25	16,6	70	4,54	6,00	0,70	7,10
50	16,2	64	4,76	6,57	0,74	7,05
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Efecto de la proporción de compost en el contenido de metales pesados en los granos de arroz.

Proporción de compost (%)	Contenido de metales pesados en los granos		
	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)
CAMPAÑA 2002			
0	1,5	19	1,4
25	1,4	19	1,8
50	1,4	18	1,8
Significación	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2003			
0	1,9	14	1,9
25	1,6	14	1,8
50	1,8	14	2,3
Significación	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2004			
0	1,9	14	1,1
25	2,0	15	1,1
50	1,9	15	1,1
Significación	NS	NS	NS

Efecto de la proporción de compost en el contenido de metales pesados en los granos de arroz.

Proporción de compost (%)	Contenido de metales pesados en los granos		
	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
CAMPAÑA 2002			
0	0,19	0,014	2,3
25	0,17	0,019	2,4
50	0,18	0,021	2,2
Significación	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2003			
0	0,059	0,017	2,1
25	0,62	0,010	2,1
50	0,072	0,015	2,2
Significación	NS	NS	NS
CAMPAÑA 2004			
0	0,018	0,009	1,6
25	0,023	0,009	1,7
50	0,033	0,009	1,0
Significación	NS	NS	NS

Efecto del compost en algunas características físico-químicas del suelo (campana 2005).

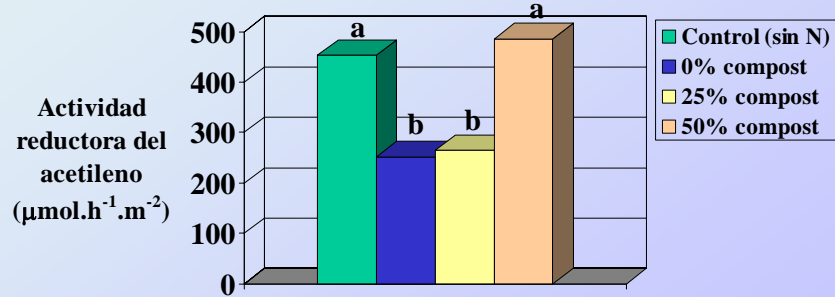
Proporción de compost (%)	pH (H ₂ O)	Salinidad extracto saturación (dS/m)
	0-15 cm	
0	7,98	3,20
25	7,96	3,37
50	7,96	3,43
Significación	NS	NS

Efecto del compost en algunas características físico-químicas del suelo (campaña 2005).

Proporción de compost (%)	MO (%)	N org (%)	Relac. C/N	P asimilable	K asimilable
				(ppm)	(ppm)
0-15 cm					
0	4,18	0,237	10,2	31	207
25	4,16	0,234	10,3	37	211
50	4,19	0,230	10,6	34	207
Significación	NS	NS	NS	NS	NS

Efecto del compost en el contenido de metales pesados totales en el suelo (campaña 2005)

Proporción de compost (%)	Metales pesados en el suelo (ppm)				
	Cu	Zn	Ni	Pb	Cr
0-15 cm					
0	17	44	15	19	28
25	18	46	15	19	29
50	17	45	14	17	29
Significación	NS	NS	NS	NS	NS
Máx. admisible	210	450	112	300	150



Sobre la incorporación de la paja al suelo

- El rendimiento en grano con la incorporación y la recogida de la paja resultó ligeramente inferior al obtenido con la quema
- La producción de paja mostró el mismo patrón de variación que el del rendimiento
- El tipo de gestión de la paja de arroz tuvo poca repercusión en la composición nutritiva de la planta (grano y paja), y en las propiedades fisico-químicas y biológicas del suelo

Sobre la aplicación del compost

- La aplicación del compost causó un pequeño aumento (1-2 días) en el ciclo hasta el 50% de espigado
- El compost redujo la altura (hasta 6 cm) de las plantas de arroz
- La sustitución de una parte (25 y 50 %) del fertilizante mineral por compost provocó una ligera disminución en el rendimiento (4-6%)
- La aplicación de compost tuvo poca repercusión en el contenido de N y absorción de N por la planta, así como en la recuperación del N

Sobre la aplicación del compost (cont.)

- Ni el contenido en metales pesados ni los parámetros determinantes de la calidad del arroz (elaboración y cocción) resultaron afectados por el compost
- La aplicación de compost no afectó de forma significativa a las propiedades físico-químicas del suelo
- Las dosis alta de compost provocó un aumento considerable en la actividad de las cianobacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico

Incorporación al suelo

Ventajas:

- Permite el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes
- A largo plazo, mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas
- Aumenta la capacidad de fijación del nitrógeno atmosférico
- Mayor rendimiento
- Disminución de las necesidades en fertilizantes minerales

Incorporación al suelo

Inconvenientes:

- Inmovilización del nitrógeno mineral del suelo
- Liberación de compuestos fitotóxicos
- Aumento de las emisiones de metano
- Coste de incorporación de la paja

Recogida de la paja

Ventajas:

- Se evita la quema
- Se reducen las emisiones de metano
- Se le puede incorporar un valor añadido y generar puestos de trabajo en diversas actividades

Recogida de la paja

Inconvenientes:

- Genera la salida de la materia orgánica y nutrientes contenidos en la paja
- A largo plazo, disminuyen los niveles de materia orgánica y nutrientes asimilables (principalmente, el potasio)
- Aumentan las necesidades de fertilizantes minerales
- Disminución del rendimiento

Aplicación en forma de compost

Ventajas:

- Permite el reciclado de una gran parte de la materia orgánica y los nutrientes de la paja
- Se reducen los problemas de inmovilización del nitrógeno y liberación de compuestos tóxicos
- A largo plazo, mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo
- Aumenta la fijación del nitrógeno atmosférico
- Se mantiene o aumenta el rendimiento
- Disminución de las necesidades de fertilizantes minerales

Aplicación en forma de compost

Inconvenientes:

- Costes de recogida de la paja y transporte a la planta de compostaje
- Coste de transformación en compost
- Coste de transporte y aplicación del compost
- Necesidad de instalaciones de acopio y compostaje
- Riesgo de incendio de las pacas de paja